

COMPOSES DE MALEIMIDES MARQUES,  
LEUR PROCEDE DE PREPARATION  
ET LEUR UTILISATION POUR LE MARQUAGE DE MACROMOLECULES

5

DESCRIPTION

La présente invention a trait à des composés de maléimides marqués par le fluor-18.

10 L'invention concerne également un procédé de préparation de ces composés.

15 L'invention est enfin relative à l'utilisation de ces composés de maléimides, en particulier marqués au fluor-18, pour le marquage de macromolécules, telles que des oligonucléotides, des protéines, des anticorps et des peptides.

Le domaine technique de l'invention peut être défini, de manière générale, comme celui du marquage radioactif de macromolécules et, en particulier, de protéines et de peptides.

20 En effet, pour une utilisation dans la recherche ou le diagnostic les macromolécules, telles que les protéines ou encore les peptides peuvent être couplées à une molécule de marquage permettant leur détection, cette molécule de marquage peut être, par exemple, une molécule fluorescente, des particules d'or, un composé paramagnétique ou une molécule portant un radioélément.

25 Les protéines ont été marquées de manière radioactives par des radioisotopes, de l'iode et divers radioisotopes de métaux, tels que le technétium,

l'indium et le gallium. Plus récemment, les protéines ont été marquées avec du fluor-18.

Par exemple, les peptides couplées à des radioéléments, tels que le fluor, permettent une 5 détection « *in vivo* » de la localisation des zones thrombotiques lors d'accidents vasculaires de toutes sortes, en particulier des foyers apoptotiques et inflammatoires, en utilisant des systèmes d'imagerie.

Ainsi, les atomes radioactifs émetteurs de 10 positons à durée de vie courte et notamment le <sup>18</sup>F peuvent, en particulier, être détectés par les appareils de tomographie par émission de positons (TEP) (PET ou « *Positon Emission Tomography* »).

Le marquage radioactif par le fluor-18 pose, 15 notamment du fait de la très courte période du fluor-18 (voisine de 109,8 minutes) des problèmes spécifiques qui font que le marquage par le fluor-18 est fondamentalement différent de celui avec les autres halogènes, tels que l'iode.

Le couplage précité peut être réalisé par 20 toutes les techniques classiques de chimie organique connues de l'homme du métier, et par la synthèse de marqueurs de protéines et de peptides portant un ou plusieurs atomes radioactifs à durée de vie courte en 25 particulier le <sup>18</sup>F. Ce marqueur est généralement constitué, d'une part, d'une partie capable de recevoir, par exemple, un atome de <sup>18</sup>F et, d'autre part, d'une partie comportant une fonction classique quelconque de liaison à la macromolécule, par exemple, 30 à la protéine.

Ces marqueurs doivent répondre à l'exigence d'une synthèse rapide et facile, car du fait de la courte durée de vie des radio isotopes tels que le  $^{18}\text{F}$ , la durée de synthèse ne doit pas généralement excéder 5 quelques heures.

En outre, cette synthèse, du fait de la haute radioactivité des composés mis en œuvre, doit pouvoir être réalisée par des moyens robotisés.

Ainsi, les procédés pour le marquage de 10 protéines ou de peptides avec le fluor-18 font-ils appel à des marqueurs encore appelés « conjugués » ou « synthon » marqués, qui sont classés en trois familles principales, selon qu'ils réagissent avec les groupes amines, les groupes sulfhydryles, ou les groupes 15 carbohydrates des macromolécules, tels que les protéines et peptides.

Parmi les composés ou conjugués réagissant avec les groupes amino, on peut citer les imidates, tels que le 3-[ $^{18}\text{F}$ ]fluoro-5-nitrobenzoimide, qui 20 réagissent, par exemple, avec le groupe  $\epsilon\text{-NH}_2$  de la lysine pour se lier à une protéine ; les esters activés, tels que le N-succinimidyl-[ $^{18}\text{F}$ ]fluorobenzoate ; les acides carboxyliques, tels que l'acide 25 N-(4-[ $^{18}\text{F}$ ]fluorobenzoïque) ; les aldéhydes, telles que la 4-[ $^{18}\text{F}$ ]pentafluorobenzaldéhyde et les isothiocyanates, tels que le 4-( $^{18}\text{F}$ )fluorométhyl phénylisothiocyanate).

Les halogénures activés, tels que le bromure 30 de (4-[ $^{18}\text{F}$ ]fluorophénacyle), réagissent avec les groupes

amino, tels que le groupe  $\epsilon$ -NH<sub>2</sub> de la lysine ou le groupe -SH de la cystéine.

Les amines, telles que la 1-(4-(<sup>18</sup>F)fluorométhyl)benzoyl)-aminobutane-4-amine réagissent avec les groupes CO<sub>2</sub>H, par exemple de l'acide glutamique ou de l'acide aspartique ou avec les groupes CHO des glycoprotéines.

Les nitrènes avec des centres actifs photochimiques, tels que le fluorure<sup>[18]F</sup> d'azidophénacyle réagissent aussi avec les groupes amino, par exemple le groupe  $\epsilon$ -NH<sub>2</sub> de la lysine.

Le procédé le plus efficace et le plus décrit pour marquer les protéines et peptides est celui qui met en œuvre des acides activés, mais c'est aussi le procédé qui présente la non-spécificité la plus grande car tous les sites nucléophiles des aminoacides des protéines ou peptides vont réagir avec le marqueur, conjugué, ou synthon marqué.

Deux procédés plus spécifiques pour marquer les peptides et les nucléotides présentent une bonne spécificité vis-à-vis des atomes de soufre, par exemple de la cystéine pour les peptides et d'une fonction phosphoro-thioate pour les nucléotides.

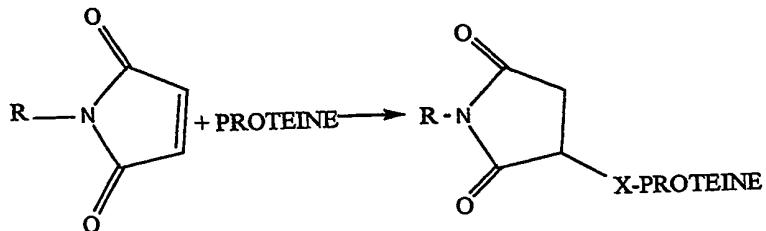
Il s'agit, tout d'abord, des procédés mettant en œuvre des « synthons » haloacétamides, qui, bien que satisfaisants, présentent l'inconvénient d'être très lents et donc peu adaptés au <sup>18</sup>F, du fait de la période de celui-ci.

Il s'agit ensuite des procédés mettant en jeu des maléimides activés, qui peuvent se fixer sur les groupes SH avec une très bonne spécificité car la

réaction est très lente vis-à-vis, par exemple des sites  $\varepsilon$ -NH<sub>2</sub> de la lysine.

Le schéma de la réaction impliquant le groupe maléimido est le suivant, dans le cas d'une protéine :

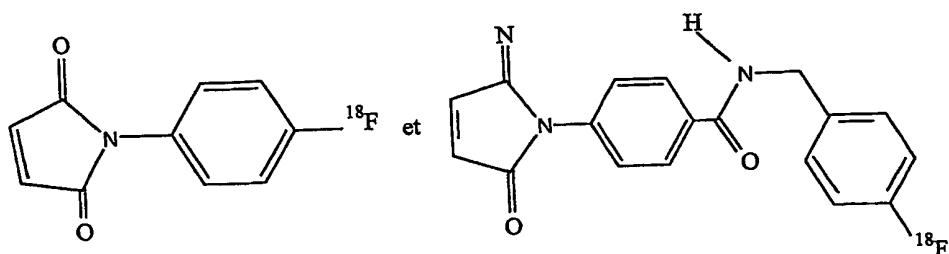
5



dans laquelle X représente -S-.

10 Pour tout marquage, quel qu'en soit le type, les molécules comprenant un radical maléimide sont, actuellement considérées comme étant les meilleures, pour ce qui est de leur réactivité avec les macromolécules, telles que les peptides ou les protéines.

15 Le document de SHIUE C.-Y. et al., J. Label Compounds Radiopharm 26 : 287-289 (1989), décrit les composés :



Le premier de ces composés n'est pas facile à marquer avec du fluor-18 à haute activité spécifique.

En effet, seul le fluor  $F_2$  permettrait un marquage facile de (comme avec l'iode) et il se trouve précisément que  $F_2$  est généralement un produit à basse activité spécifique.

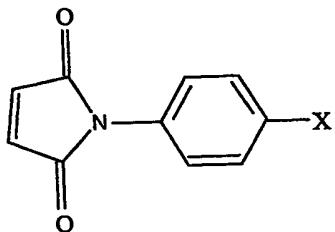
En particulier, le  $F_2$  ne convient pas à la fabrication de composés dits « radiotraceurs » qui sont, préférentiellement, visés selon l'invention, tout simplement parce que la masse injectée de molécule marquée devient importante et que, alors, le principe de base régissant ce « traceur », à savoir l'occupation extrêmement faible (par exemple, inférieure à 5 %) des sites récepteurs, n'est pas respecté.

En outre, la synthèse du premier de ces composés est difficile, elle est, en effet, réalisée en quatre étapes nécessitant une durée importante avec des rendements très faibles, et des transformations chimiques relativement complexes. Ce procédé n'est donc pas susceptible d'être aisément automatisé.

Le second des composés cités dans le document de SHIUE et al. comporte une chaîne amide qui n'est pas chimiquement très solide et qui est facilement clivée, rompue, *in vivo*.

Sa mise en œuvre pour des applications de diagnostic n'est donc pas envisageable. En outre, la synthèse de ce second composé comprend trois étapes et le rendement final est faible, voisin, par exemple, de 10 % (EOB : « End Of Bombardment » en anglais, c'est-à-dire fin d'irradiation).

Le document US-A-4 735 792 est relatif à des molécules de formule :



5

dans laquelle X est un halogène radioactif choisi parmi le brome-75, le brome-76, le brome -82, l'iode-123, l'iode-125, l'iode-131 et le fluor-18.

Toutefois, seule la molécule marquée à 10 l'iode-125 est effectivement préparée.

La préparation d'une molécule marquée au fluor-18 n'est ni mentionnée, ni évoquée, et les remarques déjà effectuées ci-dessus, en ce qui concerne le premier composé du document de SHIUE et al., 15 s'appliquent aussi dans le cadre du document US-A-4 735 792.

L'homme du métier, à la lecture de ce document, ne possède aucune information lui permettant de préparer spécifiquement un composé marqué au fluor-18 et s'il envisage de le faire, il mettrait en œuvre du F<sub>2</sub> et aboutirait ainsi à un composé de faible activité spécifique, inutilisable en imagerie « PET ».

On peut en outre, considérer que la chimie mise en œuvre pour fabriquer le composé fluoré du document US-A-4 735 792 est une chimie complexe et longue.

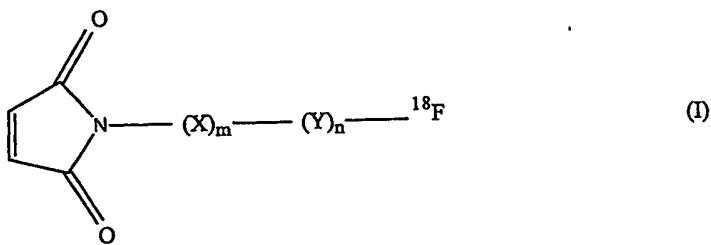
Il existe donc un besoin pour des composés de maléimides marqués au fluor-18, qui présentent une forte réactivité, une grande sélectivité ainsi qu'une bonne activité spécifique.

5 Il existe encore un besoin pour des composés de maléimide marqués au fluor-18, qui puissent être fabriqués à un haut rendement par un procédé simple, fiable, facilement automatisable, robotisable, rapide et de courte durée.

10 Le but de la présente invention est de fournir un composé de maléimide marqué au fluor-18 qui réponde, entre autres à ces besoins.

15 Le but de la présente invention est encore de fournir un composé de maléimide marqué au fluor-18, qui ne présente pas les inconvénients, défauts, limitations et désavantages des composés de l'art antérieur et qui résolve les problèmes de l'art antérieur.

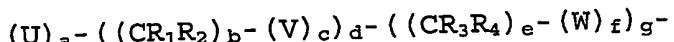
20 Ce but, et d'autres encore sont atteints, conformément à l'invention, en fournissant un composé de formule générale (I) :



dans laquelle :

25 - m représente un nombre entier de 0 à 10, tel que 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 ;

- n représente un nombre entier de 1 à 10,  
 tel que 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 ;  
 - y représente un groupe choisi parmi les  
 groupes hétérocycliques monocycliques ou bicycliques  
 5 choisis parmi les groupes imidazolyle, pyrazolyle,  
 benzimidazolyle, pyridinyle, piridazinyle,  
 pyrimidinyle, pyrazinyle, triazinyle, quinolinyle,  
 isoquinolinyle, cinnolinyle, quinazolinyle,  
 quinoxalinyle, purinyle, y pouvant être,  
 10 éventuellement, substitué par un ou plusieurs  
 substituants, chacun de ces substituants étant  
 indépendamment choisi parmi l'hydrogène, les halogènes  
 (non radioactifs), les groupes phényle, alkyle en C<sub>1-6</sub>,  
 alcoxy en C<sub>1-6</sub>, aryloxy, amino, mono- ou di(alkyle en  
 15 C<sub>1-6</sub>)amino, mono- ou di(aryl)amino, thio, alkyle en  
 C<sub>1-6</sub>-thio, arylthio, formyle, alkyle en C<sub>1-6</sub>-carbonyle,  
 arylcarbonyle, carbonyle, alcoxy en C<sub>1-6</sub>-carbonyle,  
 aryloxycarbonyle, alkyle en C<sub>1-6</sub>-aminocarbonyle,  
 arylaminocarbonyle, trifluorométhyle ;  
 20 - x représente un radical de formule :



dans laquelle :

25 - a, b, c, d, e, f, g représentent chacun  
 indépendamment un nombre entier de 0 à 10, tel que 0,  
 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ;  
 - U, V et W représentent chacun  
 indépendamment -NR<sub>1</sub>-, -O-, -S-,  $\text{---} \overset{\text{O}}{\underset{\text{---}}{\text{N}}} \text{---}$ , éthynyle,  
 30 -CR<sub>1</sub>=CR<sub>2</sub>-, -(C=O)-, -(C=S)-, -C(=NR<sub>1</sub>)-, -C(=O)O-

- (C=S)S-, -C(=NR<sub>1</sub>)NR<sub>2</sub>-, -CR<sub>1</sub>R<sub>2</sub>-, -CR<sub>1</sub>OR<sub>2</sub>-, -CR<sub>1</sub>NR<sub>2</sub>R<sub>3</sub>-, où R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> et R<sub>4</sub> sont chacun indépendamment choisis parmi l'hydrogène, les halogènes, les groupes phényle, alkyle en C<sub>1-6</sub>, alcoxy en C<sub>1-6</sub>, aryloxy, amino, mono- ou 5 di(alkyle en C<sub>1-6</sub>)amino, mono- ou di(aryl)amino, thio, alkyle en C<sub>1-6</sub>-thio, arylthio, formyle, alkyle en C<sub>1-6</sub>-carbonyle, arylcarbonyle, carbonyle alcoxy en C<sub>1-6</sub>-carbonyle, aryloxycarbonyle, alkyle en C<sub>1-6</sub>-aminocarbonyle, arylaminocarbonyle, 10 trifluorométhyle.

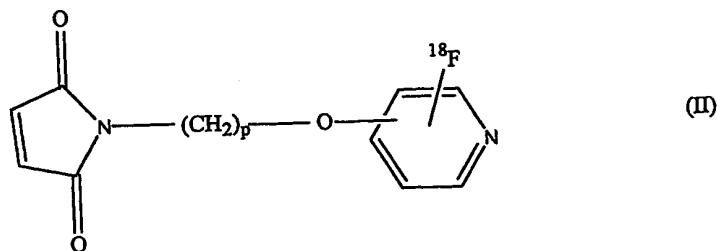
Généralement, dans la présente description, halogène signifie fluor, chlore, brome ou iodé. C<sub>1-6</sub> alkyle correspond aux radicaux hydrocarbonés saturés à chaînes linéaires et ramifiées ayant de 1 à 6 atomes de carbone, tels que méthyle, éthyle, propyle, butyle, 15 pentyle et hexyle.

Le rattachement et la substitution des hétérocycles, groupe aryle, etc., peut se faire en une position quelconque.

20 De même, le rattachement du <sup>18</sup>F sur Y ou X peut se faire en une position quelconque, en particulier sur une position quelconque sur un hétérocycle.

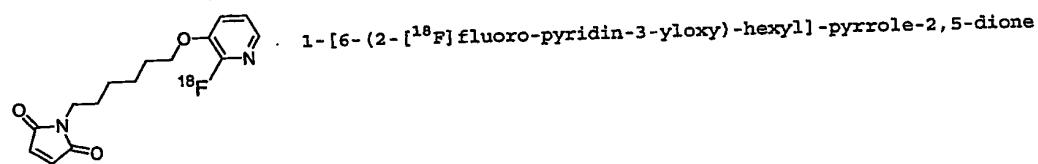
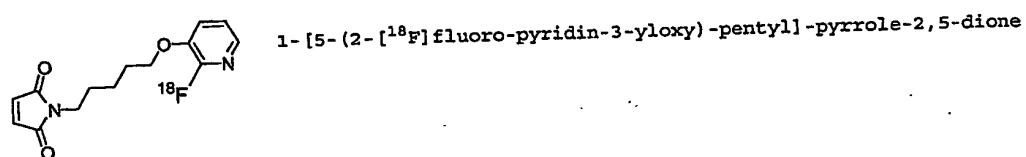
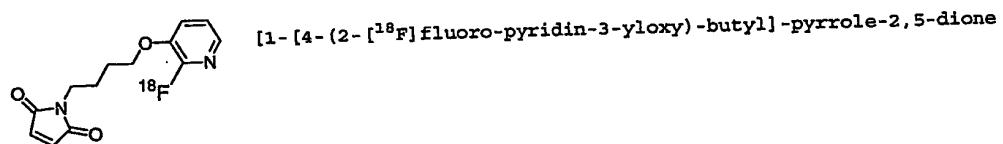
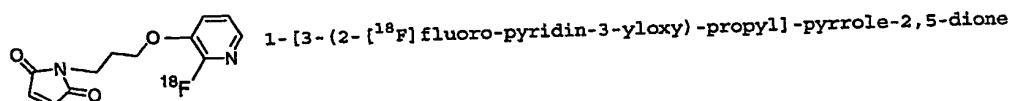
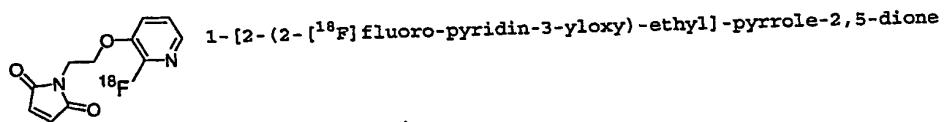
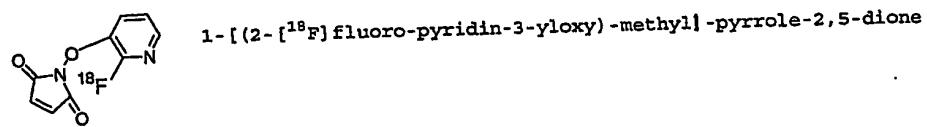
Avantageusement, dans le composé de formule 25 (I) ci-dessus, n=1, et Y est un groupe 3-pyridinyle.

Les composés de formule (I) peuvent appartenir à diverses familles, une première famille peut être définie comme celle des « éthers d'alkyle », qui répondent à la formule (II) suivante :



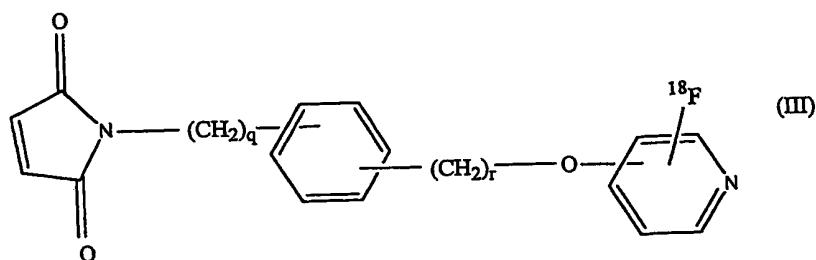
dans laquelle p est un nombre entier de 1 à 10, tel que  
2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9.

5 Les composés préférés de formule (II) sont  
choisis parmi les composés suivants :



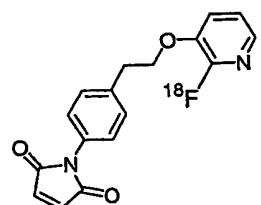
5

Une deuxième famille de composés de formule (I) peut être définie comme celles des « éthers de phénylalkyle », qui répondent à la formule (III) suivante :

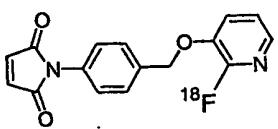


5 dans laquelle q et r représentent indépendamment un nombre entier de 0 à 10, tels que 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

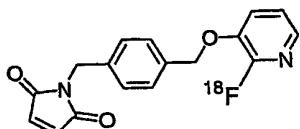
Les composés préférés de formule (III) sont choisis parmi les composés suivants :



1-[4-(2-[(<sup>18</sup>F)Fluoro-pyridin-3-yloxy]ethyl)phenyl]pyrrole-2,5-dione



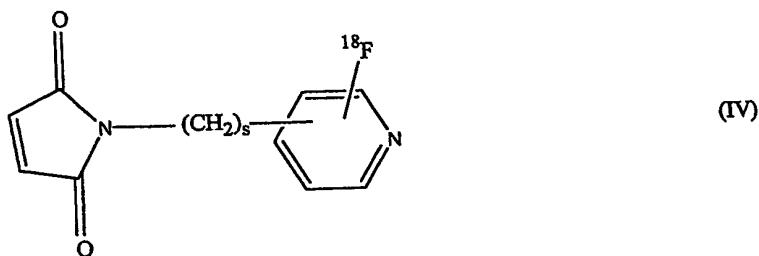
1-[4-(2-[(<sup>18</sup>F)Fluoro-pyridin-3-yloxy]methyl)phenyl]pyrrole-2,5-dione



1-[4-(2-[(<sup>18</sup>F)Fluoro-pyridin-3-yloxy]methyl)benzyl]pyrrole-2,5-dione

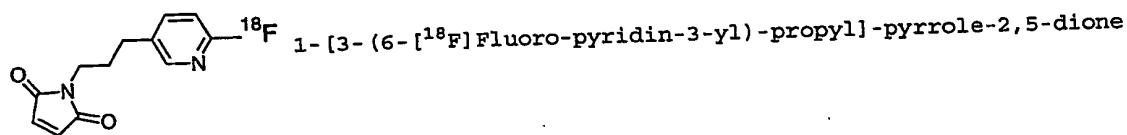
10

Une troisième famille est celle des composés qui répondent à la formule (IV) suivante :

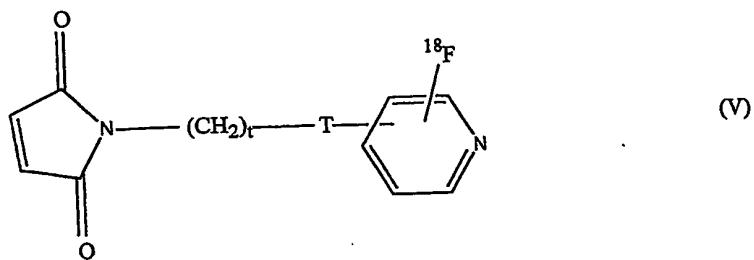


dans laquelle  $s$  est un nombre entier de 1 à 10, tel que  
 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

5                    Un composé préféré de formule (IV) est le  
 composé suivant :

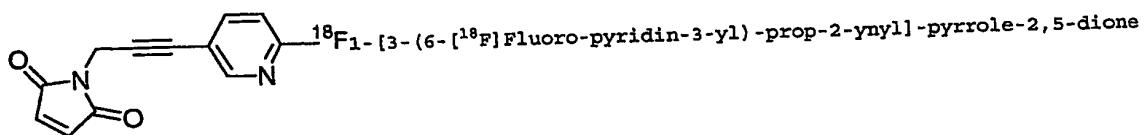
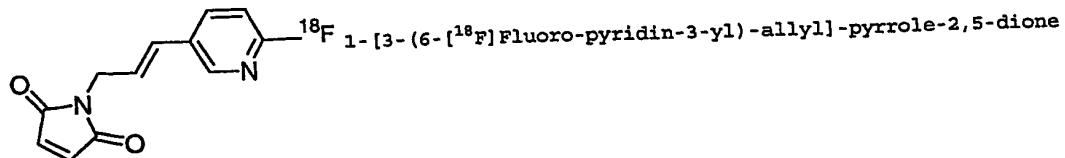


Une quatrième famille est celle des  
 10                composés qui répondent à la formule (V) suivante :



dans laquelle  $t$  est un nombre entier de 0 à 10, tel que  
 15                1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et  $T$  est un groupe -CH=CH- ou  
 -C≡C-.

Des composés préférés de formule (V) sont les composés suivants :



Les composés selon l'invention n'ont jamais été décrits, ni évoqués, dans l'art antérieur.

Les composés selon l'invention se distinguent fondamentalement des composés de l'art antérieur, du fait de leur structure spécifique dans laquelle la partie portant l'atome de fluor-18 est constituée, selon l'invention, par un groupe Y spécifique qui est notamment un groupe pyridinyle, la partie de liaison, de couplage à une macromolécule, telle qu'une protéine ou un peptide, est constituée, selon l'invention par une fonction spécifique, à savoir une fonction maléimido, et, enfin, la partie de liaison à une macromolécule et la partie portant l'atome de fluor-18 sont reliées selon l'invention par une chaîne ou bras espaceur de nouveau spécifique, par exemple de type alkyle (généralement de 2 à 6C), éther d'alkyle, éthers de phénylalkyle, alcényle, qui ne sont pas fragiles et ne sont pas susceptibles de ruptures « *in vivo* ».

L'invention concerne l'utilisation d'un composé, tel que décrit ci-dessus pour le marquage de macromolécules.

Cette macromolécule peut être toute 5 macromolécule, en particulier biologique connue, mais elle peut être choisie, par exemple, parmi le oligonucléotides, les protéines, les anticorps et les peptides. Ladite macromolécule est avantageusement une 10 macromolécule de reconnaissance d'un site spécifique choisi, de préférence, parmi les sites présentant des molécules cibles spécifiques d'une pathologie, tels que les sites d'apoptose, de nécrose ou de zone tumorale.

L'invention a également trait à un complexe 15 comprenant une macromolécule couplée à un composé selon l'invention, tel qu'il a été décrit ci-dessus.

Ladite macromolécule est choisie, de préférence, parmi les oligonucléotides, les protéines, les anticorps et les peptides.

Ledit couplage est réalisé par réaction de 20 la double liaison du groupe maléimido du composé selon l'invention avec spécifiquement une fonction -SH(thiol) de la cystéine dans le cas d'un peptide, ou une fonction phosphoro-thioate dans le cas d'un oligonucléotide.

C'est là un des avantages liés à la 25 structure spécifique des composés selon l'invention que de permettre un marquage spécifique, voire exclusif, des cystéines, alors que la plupart des autres « synthons » ne permettent qu'un marquage 30 non-spécifique des lysines et des cystéines.

Le marquage sélectif, voire exclusif, des cystéines est dû à la présence dans la molécule de l'invention d'une fonction « dédiée », à savoir la fonction maléimido, qui est une fonction dédiée pour la 5 chemio-sélectivité envers les thiols des cystéines, ou de manière analogue envers les fonctions phosphoro-thioates.

Le marquage ou couplage, via la cystéine, peut être un marquage ou couplage direct, c'est-à-dire 10 que la cystéine existe déjà dans la macromolécule que l'on souhaite coupler au composé selon l'invention, soit la cystéine ou une molécule (peptide) la comprenant, peut être introduite (couplée préalablement 15 ou non aux composés de l'invention) dans la macromolécule qui ne comprenait pas de cystéine et on réalise ensuite le couplage si celui-ci n'a pas été réalisé au préalable sur la cystéine ou la molécule la comprenant.

La cystéine ou molécule la comprenant peut, 20 par exemple, être introduite « à façon » dans la macromolécule par ingénierie des protéines/peptides dans une position qui ne rentre pas en compétition avec, ou ne perturbe pas la fonction biologique.

Ladite macromolécule est avantageusement 25 une macromolécule de reconnaissance d'un site spécifique, telle que décrite ci-dessus. Le couplage, c'est-à-dire le marquage est, de préférence, tel qu'il n'affecte pas l'activité de reconnaissance de la cible, du site, par la macromolécule.

30 L'invention concerne aussi une trousse d'analyse et de détection, par exemple pour l'imagerie

médicale comprenant un composé selon l'invention et une macromolécule.

L'invention a trait également à une trousse d'analyse et de détection, par exemple pour l'imagerie médicale, comprenant un composé selon l'invention 5 couplé à une macromolécule, c'est-à-dire un complexe selon l'invention.

L'invention concerne aussi une trousse de diagnostic comprenant un composé selon l'invention et 10 une macromolécule.

L'invention a trait, en outre, à une trousse de diagnostic comprenant un complexe, tel que décrit plus haut.

L'invention concerne enfin l'utilisation du 15 complexe ou du composé, tels que décrits plus haut, dans un procédé d'imagerie médicale, tel que la tomographie par émission de positons (TEP) et l'utilisation d'un complexe ou d'un composé selon l'invention pour fabriquer un produit destiné à 20 l'imagerie médicale, par exemple à la tomographie par émission de positons (TEP).

Enfin, l'invention est relative à un produit pour l'imagerie médicale, en particulier la tomographie par émission de positons (TEP) comprenant 25 un complexe ou un composé tel que décrit plus haut et un véhicule pharmaceutiquement acceptable.

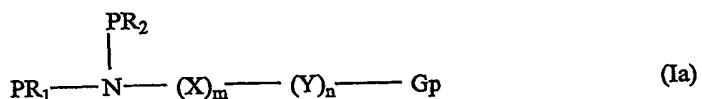
Dans leur application, dans le cadre de la « TEP », les composés et complexes, selon l'invention, comprenant un atome de fluor-18 montrent de nombreux 30 avantages par rapport aux composés avec un autre halogène radioactif, par exemple l'iode.

En effet, le seul isotope de l'iode émetteur de positons est l'iode-124, qui pourrait permettre la TEP.

Mais, il reste produit à de faibles 5 quantités (qques mCi contre des curies pour le F-18). Il est aussi difficile à produire. Enfin, l'iode-124 n'est pas un émetteur de positons pur (contrairement au fluor -18, 97 %) et décroît par émission beta+ à 25 % seulement et par capture électronique à 75 % ; il 10 possède un grand nombre de raies gamma allant de 0,603 MeV (62 %) à 2,75 MeV (1 %).

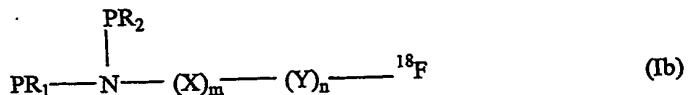
L'invention est également relative à un procédé de préparation d'un composé de formule (I), tel que décrit plus haut, dans lequel :

15 a) on met en contact un composé précurseur de formule (Ia) :



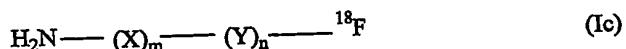
20 dans laquelle PR<sub>1</sub> et PR<sub>2</sub> représentent indépendamment un atome d'hydrogène ou un groupe protecteur de la fonction amine, à la condition que PR<sub>1</sub> et PR<sub>2</sub> ne soient pas tous deux (simultanément) un atome d'hydrogène, ou bien PR<sub>1</sub> et PR<sub>2</sub> forment ensemble avec l'atome d'azote un 25 groupe protecteur cyclique de la fonction amine, Gp représente un groupe partant susceptible d'être remplacé par un atome de fluor-18, et X, Y, m et n ont la signification déjà donnée plus haut ; avec une

source d'ions fluorure F<sup>-</sup> marqués au [<sup>18</sup>F], pour donner un composé de formule (Ib) :



5

b) on élimine dans le composé (Ib), le ou les groupe(s) protecteur(s) PR<sub>1</sub> et/ou PR<sub>2</sub> de la fonction amine pour donner un composé de formule (Ic) :



10

c) on fait réagir le composé (Ic) avec un réactif susceptible de donner un groupe maléimido à partir d'un groupe amino, pour obtenir le composé final de formule (I).

15 Le procédé selon l'invention est simple, fiable, facile à mettre en œuvre et peut être aisément robotisé. Il comporte seulement trois étapes dont l'une est une étape extrêmement simple de déprotection.

20 La durée globale du procédé est faible : à titre d'exemple, elle est généralement de 60 à 120 minutes, de préférence de 75 à 85 minutes.

25 L'incorporation de l'halogène fluor-18 est réalisée de manière extrêmement efficace avec un fort rendement, par exemple 70 à 100 %, du fait, en particulier, qu'il est effectué sur un groupement hétérocyclique, tel que la pyridine.

Le rendement final de l'ensemble du procédé pour un produit purifié est extrêmement élevé, par exemple de 15 % à 25 % et les quantités potentielles de composé « synthon », en fin de synthèse, sont également très importantes.

Dans le composé (Ia), les groupes  $PR_1$  et  $PR_2$  lorsqu'ils sont des groupes protecteurs peuvent être tout groupe protecteur connu en chimie organique. Ils sont choisis, de préférence, parmi les groupes 10 tertiobutoxycarbonyle (BOC) et fluorenylmethoxy carbonyle (FMOC).

Lorsque  $PR_1$  et  $PR_2$  forment ensemble avec l'atome d'azote de la fonction amine, un groupe protecteur de celle-ci, ce groupe protecteur peut être, 15 par exemple, un groupe pthalimido.

Dans le composé (Ia), le groupe  $Gp$  peut être tout groupe partant susceptible d'être remplacé par un atome de fluor-18 ;  $Gp$  est choisi, de préférence, parmi les halogènes, tels que F, Cl, Br, I, 20 les groupes mésyle, tosyle et triflate, lorsque  $Y$  est un groupe alkyle ; et  $Gp$  est choisi, de préférence, parmi les halogènes, les sels d'ammonium, tel que le triméthylammonium-trifluorométhane sulfonate, et le groupe nitro, lorsque  $Y$  est un groupe aromatique ou 25 hétérocyclique.

Dans l'étape a), la source d'ions fluorure marqués au  $^{18}F$  comprend lesdits ions fluorure et un contre-ion, choisi parmi les cations de grande taille, tels que le rubidium, et le tétrabutylammonium, et les 30 cations de petite taille, tels que le potassium, le sodium et le lithium, lesdits cations de petite taille

étant piégés, stabilisés, par exemple, par un cryptand ou un éther couronne, etc..., ledit cryptand ou éther couronne étant adapté au cation de petite taille mis en œuvre.

5 Un exemple de cryptand est le produit KRYPTOFIX® K<sub>222</sub> : (4, 7, 13, 16, 21, 24-hexaoxa-1,10-diazabicyclo[8.8.8]hexacosane) qui piège, par exemple, l'ion potassium.

10 Le contre-ion ou cation peut être amené sous la forme d'un sel quelconque, par exemple, il peut s'agir de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dans le cas du potassium.

L'étape a) est généralement réalisée dans un solvant, qui peut être tout solvant adéquat, tel que le DMSO.

15 L'étape a) peut être réalisée dans des conditions connues de l'homme du métier, avec un chauffage généralement à une température de 50 à 200°C, par exemple, 145°C, pendant une durée généralement de 1 à 30 minutes, par exemple de 4 à 6 minutes.

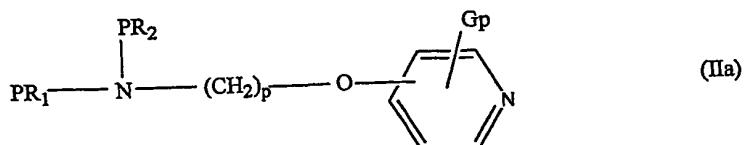
20 L'étape b) d'élimination du groupe protecteur de la fonction amine, de déprotection, pour donner le composé de formule (Ic), où le groupe amino est libre, peut être réalisée par tout procédé de déprotection connu. On pourra, par exemple, mettre le composé (Ib) en contact avec du TFA dans le CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> pendant une durée généralement de 1 à 5, par exemple de 2 minutes. Il est à noter que le TFA est utilisé généralement uniquement si le groupe protecteur est enlevé en milieu acide, par exemple lorsque PR<sub>1</sub> = BOC et PR<sub>2</sub> = H.

Dans l'étape c), le réactif susceptible de donner un groupe maléimido à partir d'un groupe amido peut être tout composé connu. Il pourra ainsi être choisi parmi la N-méthoxycarbonylmaléimide et la 5 succinimide.

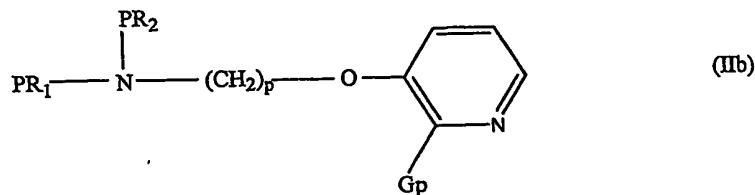
L'étape c) peut être réalisée dans des conditions connues de l'homme du métier, par exemple dans un solvant, tel que le xylène, le THF, avec un chauffage généralement à une température de 100 à 10 200°C, par exemple de 190°C, pendant une durée de 1 à 20 minutes, par exemple de 5 minutes.

L'étape c) peut dans un autre mode de réalisation également être réalisée dans un mélange biphasique par exemple de dioxanne et de bicarbonate de sodium aqueux, à température ambiante pendant une durée de 3 à 15 minutes, par exemple 10 minutes ; ce mode de réalisation de l'étape c) offre l'avantage de donner un meilleur rendement et d'être mis en œuvre à température ambiante, sans qu'il soit nécessaire de chauffer le 15 mélange.

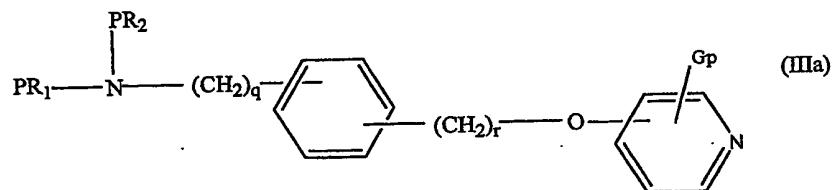
Le composé de formule (Ia) peut répondre à la formule (IIa) suivante :



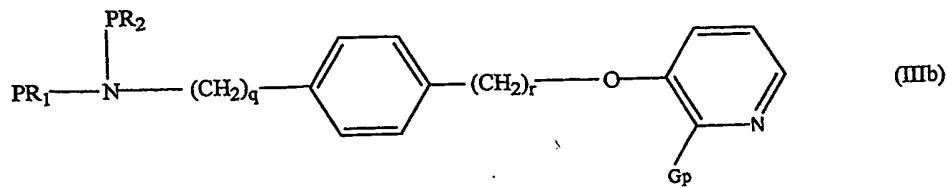
Le composé (IIa) répond, de préférence, à la formule (IIb) suivante :



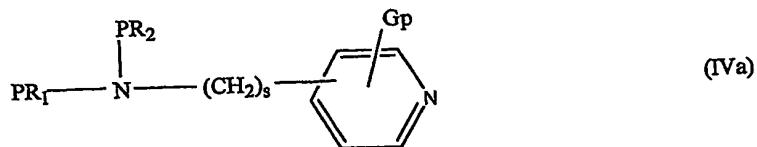
Le composé de formule (Ia) peut, dans un autre mode de réalisation, répondre à la formule (IIIa) suivante :



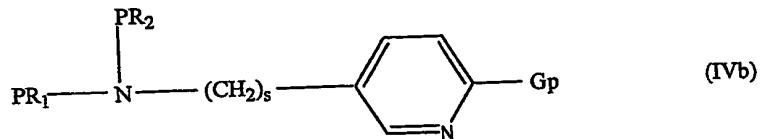
Le composé (IIIa) répond, de préférence, à la formule (IIIb) suivante :



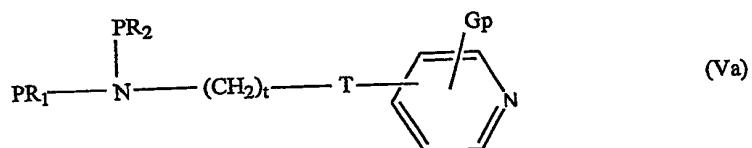
Le composé de formule (Ia) peut, dans encore un autre mode de réalisation, répondre à la formule (IVa) suivante :



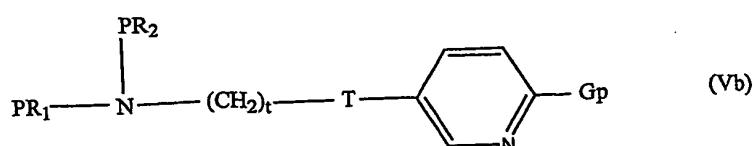
Le composé (IVa) répond, de préférence, à  
 5 la formule (IVb) suivante :



Dans un autre mode de réalisation, le  
 10 composé de formule (Ia) peut répondre à la formule (Va)  
 suivante :



15 Le composé (Va) répond, de préférence, à la  
 formule (Vb) suivante :



L'invention concerne également les composés précurseurs de formules (Ia), (IIa), (IIb), (IIIa), (IIIb), (IVa), (IVb), (Va), (Vb), tels qu'ils ont été décrits plus haut, en tant qu'intermédiaires de synthèse pour les composés de formules (I) à (V) selon l'invention.

Les composés précurseurs peuvent être choisis, en particulier, parmi les composés finaux définis, énumérés, plus haut, dans lesquels le  $[^{18}\text{F}]$  est remplacé par un halogène non radioactif, tel que  $^{19}\text{F}$ , Cl, Br, I, un sel d'ammonium, tel que le triméthylammonium-trifluorométhanesulfonate ou un groupe  $\text{NO}_2$  et le groupe 1-pyrrole-2,5-dione est remplacé par un groupe tertbutoxycarbonylamino.

Des composés précurseurs préférés sont, par exemple le [3-(3-tert-butoxycarbonylamino-propoxy)-pyridin-2-yl]-triméthyl-ammonium trifluorométhane sulfonate ; et l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-nitro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique.

L'invention va maintenant être exposée de manière plus détaillée dans la description qui suit, donnée à titre illustratif et non limitatif, en relation avec des exemples de préparation de composés selon l'invention, ainsi que de complexes selon l'invention.

Conditions des expériences

Produits chimiques, chromatographie en couche mince (CCM « TLC ») et chromatographie liquide 5 haute pression (« HPLC »).

On s'est procuré les produits chimiques auprès de divers fournisseurs (ALDRICH, FLUKA ou SIGMA France) et ils ont été utilisés sans purification plus 10 poussée, sauf lorsque cela est mentionné. Les CCM sont réalisées sur des plaques revêtues, au préalable, de gel de silice 60F<sub>254</sub> de chez MERCK. Les composés ont été localisés (1) si possible à 254 nm, en utilisant une lampe à UV et/ou (2) par coloration par l'iode et/ou 15 (3) en trempant les plaques de CCM dans une solution éthanolique à 1 % de ninhydrine (ou une solution aqueuse à 1 % de KMnO<sub>4</sub>) et en chauffant sur une plaque chauffante. Les points, taches ou « spots », radioactifs sont détectés en utilisant un appareil 20 d'analyse linéaire automatique BERTHOLD TRACE MASTER 20.

Spectroscopies

25 Les spectres RMN sont enregistrés sur un appareil BRUKER AMX (300 MHz), utilisant le résidu hydrogéné des solvants deuterés (DMSO-d<sub>6</sub>, δ : 2,50 ppm ; CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, δ : 5,32 ppm ; CD<sub>3</sub>OD, δ : 4,78 ; CD<sub>3</sub>CN, δ : 1,93 ppm) et/ou le TMS en tant qu'étalons internes pour 30 la RMN <sup>1</sup>H, et les solvants deuterés (DMSO-d<sub>6</sub>, δ :

39,5 ppm ;  $\text{CD}_2\text{Cl}_2$ ,  $\delta$  : 53,8 ppm ;  $\text{CD}_3\text{OD}$ ,  $\delta$  : 49,3 ppm) et/ou le TMS, comme étalons internes pour la RMN<sup>13</sup>C.

Les déplacements chimiques sont donnés en ppm avec comme référence le TMS (tétraméthylsilane), dont le déplacement chimique est fixé à 0. s, d, t, dd, q, q5, m, b représentent singulet, doublet, triplet, doublet de doublet, quadruplet, quintuplet, multiplet, et large respectivement). Les spectres de masse (« MS ») sont mesurés sur un appareil Quadripolaire Finnigan 4 600 (DCI/ $\text{NH}_4^+$ ).

#### Production de l'isotope radioactif

Des ions fluorure [<sup>18</sup>F] aqueux ont été préparés dans un cyclotron CGR-MeV 520 par irradiation d'une cible d'eau de 2 mL, en utilisant un faisceau de protons de 20 MeV sur de l'eau enrichie en [<sup>18</sup>O] à 95 % par la réaction nucléaire [<sup>18</sup>O(p, n)<sup>18</sup>F]. Les ions fluorure ont été transférés dans la cellule blindée adéquate. Production typique : 550-650 mCi (20,3 à 24,0 GBq) de [<sup>18</sup>F]F<sup>-</sup> à la fin du bombardement pour une irradiation de 20  $\mu\text{A}$ , 30 minutes (36 000  $\mu\text{C}$ ).

#### Divers

Les radiosynthèses utilisant le fluor-18, y compris les purifications par HPLC semi-préparative ont été réalisées dans une cellule de 7,5 cm blindée au plomb, en utilisant un système robot ZYMATE piloté par ordinateur (de chez ZYMACK CORP., USA). L'activation

aux micro-ondes est réalisée avec un four MICROWELL 10 (2,45 GHz), fourni par LABWELL AB, Suède.

La radioactivité spécifique est déterminée comme suit : la surface des pics d'absorbance UV, correspondant au produit radiomarqué, est mesurée sur le chromatogramme de HPLC et comparée à une courbe étalon donnant la masse, en fonction de l'absorbance UV.

10

Exemple 1

Mode opératoire général pour le couplage de MITSUNOBU du 3-(N-tert-butyloxycarbonylamino)-1-propanol avec divers dérivés 3-hydroxypyridine substitués en 2.

15

A une solution de 3,0 g de triphénylphosphine (masse moléculaire : 262,69 ; 11,4 mmol) dans le THF (60 mL), en ajoute 1,8 mL d'azocarboxylate de diéthyle (DEAD, masse moléculaire : 174,16 ; d : 1,106 ; 11,4 mmol ; 1 éq). Après agitation à 0°C pendant 10 à 15 minutes, on ajoute 1,95 mL de 3-(N-tert-butoxycarbonylamino)-1-propanol (masse moléculaire : 175,23 ; d : 1,025 ; 11,4 mmol ; 1 eq) et le dérivé de 3-hydroxypyridine substitué en 2 (11,4 mmol ; 1 eq). Le mélange est agité à température ambiante pendant une nuit, puis concentré jusqu'à siccité. Le résidu est repris avec du  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  et la solution obtenue est lavée avec une solution aqueuse à 10 % de  $\text{NaHCO}_3$ , de l'eau, de la saumure, et séchée avec  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  avant concentration jusqu'à siccité. Le résidu

est chromatographié sur gel de silice pour donner le dérivé souhaité : 3-[3-(N-tertbutyloxycarbonylamino)-1-propoxy]pyridine (ou ester de tertiobutyle de l'acide [3-(pyridin-3-yloxy)-propyl]carbamique).

5

Exemple 2

Mode opératoire général pour la déprotection par le TFA des fonctions 10 N-tertbutyloxycarbonylamino.

A de 3 à 7 mmoles de l'ester de terbiobutyle de l'acide [3-(pyridin-3-yloxy)-propyl]carbamique adéquat dans 5 mL de  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , on ajoute 2 mL 15 de TFA. La solution est agitée pendant 45 minutes à la température ambiante et concentrée jusqu'à siccité.

Le résidu est redissous dans 2 mL de  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  et concentré de nouveau à siccité (2 fois) pour donner le 3-(pyridine-3-yloxy)-propylamine, sous la forme d'un 20 résidu huileux.

Exemple 3

Mode opératoire général pour la formation 25 du maléimido.

A de 2 à 3 mmoles de la 3-(pyridin-3-yloxy)-propylamine adéquate dans 5 mL de THF, on ajoute successivement 500 mg d'anhydride 30 maléique (masse moléculaire : 98,06 ; 5,1 mmoles) et 200 mg d'acide p-toluenesulfonique hydraté (masse

moléculaire : 190,22 ; 1,0 mmoles). La solution est mise à reflux pendant 24 heures et concentrée à siccité. Le résidu est chromatographié sur du gel de silice pour donner le dérivé de

5 1-[3-(pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione souhaité.

Exemple 4

10 Préparation de la 2-fluoro-3-hydroxypyridine

A 100 mL d'hydrogénofluorure de pyridine (Py.(HF)<sub>x</sub>, de chez FLUKA, 70 % de l'échantillon constitués de fluorure d'hydrogène, 30 % de l'échantillon constitués de pyridine) refroidis à 0°C, on ajoute successivement et avec précaution 3,7 g de 2-amino-3-hydroxypyridine (masse moléculaire : 110,12 ; 33,6 mmol) et 3 g de NaNO<sub>2</sub> (masse moléculaire : 69,00 ; 43,5 mmol). Le mélange est agité à 0°C pendant 1 heure, puis lentement rendu basique avec une solution aqueuse de NaOH, 10 N, transférée dans un décanteur et extrait avec EtOAc. Les phases organiques sont combinées, lavées avec de l'eau, de la saumure, séchées avec du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et concentrées à siccité. Le résidu est purifié par passage à travers une colonne de gel de silice (éluant : heptane/EtOAc : 50/50) pour donner 2,5 g (65 %) de 2-fluoro-3-hydroxypyridine sous la forme d'un solide qui est utilisé sans purification plus poussée.

30 Rf(EtOAc/heptane : 80/20) : 0,65 mp :  
131°C. <sup>1</sup>H NMR (DMSO-d<sub>6</sub>, 298K) : δ : 10,41 (s, 1H) ; 7,64

(td,  $J$  : 1,7 & 4,7 Hz, 1H) ; 7,42 (dd,  $J$  : 1,7, 1,7 & 10,8 Hz, 1H) ; 7,17 (ddd,  $J$  : 1,3, 4,7 & 7,8 Hz, 1H).  $^{13}\text{C}$  NMR (DMSO- $d_6$  298K) :  $\delta$  : 152,8 (d,  $J^1_{\text{F-C}}$  : 233 Hz, C) ; 140,2 (d,  $J^2_{\text{F-C}}$  : 27 Hz, C) ; 135,6 (d,  $J^3_{\text{F-C}}$  : 5 Hz, CH) ; 122,6 5 13 Hz, CH) ; 126,2 (d,  $J^3_{\text{F-C}}$  : 5 Hz, CH) ; 122,6 (CH). MS (DCI/NH $4^+$ ) : C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>FNO : 131 [M + NH $4^+$ ] ; 114 [M+H $^+$ ].  
Anal. (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>FNO) C, H, N.

### Exemple 5

10

Dans cet exemple, on décrit la préparation d'une molécule de référence qui est la 1-[3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione, dans laquelle le fluor n'est pas du fluor radioactif, mais du  $^{19}\text{F}$ .  
15

20

a) Préparation de l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique.

25

Le mode opératoire décrit ci-dessus dans l'exemple 1 est utilisé avec la 2-fluoro-3-hydroxypyridine préparée dans l'exemple 4 (1,29 g ; 11,4 mmol) pour donner 1,9 g (62 %) de l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique sous la forme d'une huile jaune, après chromatographie « flash » (éluant : CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> pur, heptane/EtOAc : 70/30 à 50/50).

30

Rf (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/EtOAc : 95/5) : 0,45. <sup>1</sup>H NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : δ : 7,68 (dt, J : 4,8 & 1,8 Hz, 1H) ; 7,28 (td, J : 7,8 & 1,5 Hz, 1H) ; 7,10 (dd, J : 5,1 & 0,9 Hz, 1H) ; 4,96 (b, w<sub>1/2</sub> : 20 Hz, 1H) ; 4,07 (t, J : 6,0 Hz, 2H) ; 3,28 (q, J : 6,0 Hz, 2H) ; 1,98 (q<sup>5</sup>, J : 6,0 Hz, 2H) ; 1,39 (s, 9H). <sup>13</sup>C NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : δ : 156,3 (C) ; 154,1 (d, J<sub>1F-C</sub> : 235 Hz, C) ; 142,5 (d, J<sup>2</sup><sub>F-C</sub> : 25 Hz, C) ; 137,5 (d, J<sup>3</sup><sub>F-C</sub> : 13 Hz, CH) ; 123,0 (CH) ; 122,2 (CH) ; 79,2 (C) ; 67,3 (CH<sub>2</sub>) ; 38,0 (CH<sub>2</sub>) ; 29,8 (CH<sub>2</sub>) ; 28,5 (CH<sub>3</sub>).

la  
b) Préparation de la  
3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propylamine.

Le mode opératoire décrit ci-dessus dans  
l'exemple 2 est utilisé avec l'ester de tertiobutyle de  
l'acide [3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-  
carbamique préparée en a) (1,0 g ; masse moléculaire :  
270,30 ; 3,7 mmol) pour donner 1,4 g/95 %) de  
3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propylamine.2TFA, sous la  
forme d'une huile jaune.

<sup>1</sup>H NMR (CD<sub>3</sub>OD, 298K) : δ : 7,51 (bt,  
J < 2,0 Hz, 1H) ; 7,36 (bt, J < 3,0 Hz, 1H) ; 7,04 (bq,  
J < 3,0 Hz, 1H) ; 4,03 (t, J : 6,0 Hz, 2H) ; 2,99 g (Q,  
J : 6,0 Hz, 2H) ; 2,01 (q<sup>5</sup>, J : 6,0 Hz, 2H). <sup>13</sup>C NMR  
(CD<sub>3</sub>OD, 298K) : δ : 159,3 (q, J<sup>2</sup><sub>F-C</sub> : 41 Hz, C, CF<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H) ;  
155,3 (d, J<sup>1F-C</sup> : 237 Hz, C) ; 143,5 (d, J<sup>2</sup><sub>F-C</sub> : 24 Hz,  
C) ; 138,5 (d, J<sup>3</sup><sub>F-C</sub> : 13 Hz, CH) ; 125,1 (CH) ; 123,8  
(CH) ; 116,4 (q, J<sup>1</sup><sub>F-C</sub> : 284 Hz, C, CF<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>H) ; 67,9  
(CH<sub>2</sub>) ; 38,6 (CH<sub>2</sub>) ; 29,4 (CH<sub>2</sub>).

c) 1-[3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-  
-pyrrole-2,-5 dione.

5 Le mode opératoire, décrit ci-dessus dans  
l'exemple 3, est utilisé avec la  
3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)- propylamine.2TFA (1,0 g ;  
masse moléculaire : 398,23 ; 2,5 mmol) pour donner  
10 310 mg (48 %) de 1-[3-(2-fluoro-pyridin-3-yloxy)-  
propyl]-pyrrole-2,5-dione, sous la forme d'une poudre  
jaune, après chromatographie « flash » (éluant :  
heptane/EtOAc : 50 :50 à 30/70). A des fins d'analyse,  
une fraction aliquote (100 mg) a été purifiée de  
nouveau par HPLC préparative ou semi-préparative.

15 Rf(EtOAc) : 0,7 Rf(EtOAc/heptane :  
80/20) : 0,5.  $^1\text{H}$  NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) :  $\delta$  : 7,69 (bd,  
J : 3,0 Hz, 1H) ; 7,27 (t, J : 6,0 Hz, 1H) ; 7,11 (dd,  
J : 3,0 & 6,0 Hz, 1H) ; 6,69 (s, 2H) ; 4,05 (t, J :  
20 6,0 Hz, 2H) ; 3,82 (t, J : 6,0 Hz, 2H) ; 2,11 (q<sup>5</sup>, J :  
6,0 Hz, 2H).  $^{13}\text{C}$  NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) :  $\delta$  : 171,2 (2xC) ;  
154,0 (d,  $J^{1\text{F}-\text{C}}$  : 235 Hz, C) ; 142,4 (d,  $J^{2\text{F}-\text{C}}$  : 25 Hz,  
C) ; 137,7 (d,  $J^{3\text{F}-\text{C}}$  : 13 Hz, CH) ; 134,5 (2xCH) ; 123,2  
(CH) ; 122,2 (CH) ; 67,5 (CH<sub>2</sub>) ; 35,4 (CH<sub>2</sub>) ; 28,5  
(CH<sub>2</sub>). MS (DCI/NHR<sup>+</sup>) : C<sub>12</sub>H<sub>11</sub>FN<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 251 [M+H<sup>+</sup>].

Exemple 6

Préparation de l'ester de tertiobutyle de  
30 l'acide [3-(2-nitro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-  
carbamique.

Le mode opératoire décrit ci-dessus dans l'exemple 1 est utilisé avec la 2-nitro-3-hydroxy pyridine (1,6 g ; masse moléculaire : 140,10 ; 5 11,4 mmol) pour donner 2,2 g (65 %) de l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-nitro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique sous la forme d'une huile jaune, après chromatographie « flash » (éluant : heptane/EtOAc : de 60/40 à 40/60). A des fins 10 d'analyse, une fraction aliquote (100 mg) est purifiée de nouveau sur un appareil de HPLC préparative ou semi-préparative.

Rf (EtOAc/heptane : 50/50) : 0,35.  $^1\text{H}$  NMR 15 (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) :  $\delta$  : 8,04 (t, J : 3,0 Hz, 1H) ; 7,53 (d, J : 3,0 Hz, 2H) ; 4,95 (b,  $\omega_{1/2}$  : 15 Hz, 1H) ; 4,18 (t, J : 6,0 Hz, 2H) ; 3,26 (q, J : 6,0 Hz, 2H) ; 1,99 (q<sup>5</sup>, J : 6,0 Hz, 2H) ; 1,40 (s, 9H).  $^{13}\text{C}$  NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : 20  $\delta$  : 156,3 (C) ; 149,2 (C) ; 147,3 (C) ; 139,5 (CH) ; 129,2 (CH) ; 124,0 (CH) ; 79,2 (C) ; 68,3 (CH<sub>2</sub>) ; 37,9 (CH<sub>2</sub>) ; 29,5 (CH<sub>2</sub>) ; 28,4 (CH<sub>3</sub>).

Exemple 6 bis :

25 Préparation du trifluoromethanesulfonate de [3-(3-tert-butoxycarbonylamino-propoxy)-pyridin-2-yl]-trimethyl-ammonium

Le mode opératoire décrit ci-dessus dans 30 l'exemple 1 est utilisé avec la 2-dimethylamino-3-hydroxypyridine (0,250 g ; masse moléculaire : 138,17 ;

1,8 mmol) pour donner 0,290 g de l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-dimethylamino-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique (58%) sous la forme d'une huile jaune après chromatographie « flash » (éluant : heptane/EtOAc : de 70/30 à 50/50).

5 Rf (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/EtOAc : 50/50) : 0.30. <sup>1</sup>H NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : δ : 7.79 (dd, J : 4.0 & 1.5 Hz, 1H) ; 7.00 (dd, J : 7.8 & 1.2 Hz, 1H) ; 6.73 (dd, J : 7.8 & 4.8 Hz, 1H) ; 5.15 (b, w<sub>1/2</sub> : 15 Hz, 1H) ; 4.02 (t, J : 6.0 Hz, 2H) ; 3.30 (q, J : 6.0 Hz, 2H) ; 2.95 (s, 6H) ; 1.99 (q<sup>5</sup>, J : 6.0 Hz, 2H) ; 1.42 (s, 9H). <sup>13</sup>C NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : δ : 156.2 (C) ; 153.7 (C) ; 146.2 (C) ; 139.0 (CH) ; 118.8 (CH) ; 115.9 (CH) ; 79.1 (C) ; 67.4 (CH<sub>2</sub>) ; 41.1 (CH<sub>3</sub>) ; 38.8 (CH<sub>2</sub>) ; 32.3 (CH<sub>2</sub>) ; 28.5 (CH<sub>3</sub>).

10 L'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-dimethylamino-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique est ensuite dilué dans le toluène (2 mL pour 100 mg d'ester) et la solution est refroidie à 0°C (bain de glace). A cette solution est ajoutée du 15 methanetrifluorométhanesulfonate (50 microlitres pour 100 mg d'ester) et le milieu réactionnel est agité pendant 1 heure à 0°C. Le précipité de 20 trifluoromethanesulfonate de [3-(3-tert-butoxycarbonylamino-propoxy)-pyridin-2-yl]-trimethyl- 25 ammonium est filtré, lavé par de petites portions d'ether éthylique et séché sous vide pour conduire à une fine poudre blanche (145 mg pour 100 mg d'ester).

30 <sup>1</sup>H NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : δ : 8.09 (dd, J : 3.3 & 1.0 Hz, 1H) ; 7.67 (bd, J : 8.0 Hz, 1H) ; 7.61 (dd, J : 7.0 & 4.2 Hz, 1H) ; 5.20 (b, w<sub>1/2</sub> : 15 Hz,

1H) ; 4.31 (t, J : 6.3 Hz, 2H) ; 3.71 (s, 9H) ; 3.31  
 5 (q, J : 6.3 Hz, 2H) ; 2.12 (q<sup>5</sup>, J : 6.3 Hz, 2H) ; 1.38  
 (s, 9H). <sup>13</sup>C NMR (CD<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, 298K) : δ : 156.6 (C) ; 147.7  
 (C) ; 142.6 (C) ; 139.0 (CH) ; 129.0 (CH) ; 124.6  
 (CH) ; 121.2 (q, J : 319 Hz, CF<sub>3</sub>) ; 79.3 (C) ; 68.1  
 (CH<sub>2</sub>) ; 54.8 (CH<sub>3</sub>) ; 37.5 (CH<sub>2</sub>) ; 30.0 (CH<sub>2</sub>) ; 28.4  
 (CH<sub>3</sub>).

Exemple 7

10

Dans cet exemple, on décrit la préparation d'un composé selon l'invention, qui est la 1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione.

15

a) Complexe K[<sup>18</sup>F]F-K<sub>222</sub>.

Afin de récupérer et de recycler la cible d'eau [<sup>18</sup>O], on lui fait traverser une résine échangeuse d'anions (AG1x8, de Bio-Rad, 100-200 mesh). L'ion fluorure [<sup>18</sup>F] est alors élué de la résine, en utilisant 20 1,0 mL d'une solution aqueuse de K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 4,5 mg/mL.

Après addition de 11,0 à 15,0 mg de KRYPTOFIX® K<sub>222</sub> (4, 7, 13, 16, 21, 25 24-hexaoxa-1,10-diazobicyclo[8.8.8]hexacosane), la solution résultante est alors doucement concentrée jusqu'à siccité à 145-150°C, sous un courant d'azote pendant 10 minutes pour donner un complexe K[<sup>18</sup>F]F-K<sub>222</sub>, pur, sous la forme d'un résidu blanc semi-solide.

30

b) 1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione.

Du DMSO, fraîchement distillé (600 µL),  
5 contenant 4,0 à 6,0 mg du précurseur de marqueur « nitro » (ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-nitro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique) est ajouté directement dans le tube contenant le complexe K[<sup>18</sup>F]-K<sub>222</sub> séché. Le tube (non scellé) est alors placé  
10 dans un bloc de chauffage (à 145°C pendant 4 minutes). Le tube est ensuite refroidi en utilisant un bain glace/eau et la radioactivité restante est mesurée.

85 % à 95 % de l'activité initiale placée dans le récipient est encore présente. Le mélange  
15 réactionnel obtenu de couleur sombre, est alors analysé par radiochromatographie. Les rendements d'incorporation sont calculés à partir du radiochromatogramme en CCM et sont définis par le rapport de surface du dérivé ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique sur l'activité totale du <sup>18</sup>F fluor-18 (SiO<sub>2</sub>-CCM ; éluant : EtoAc ; Rf : 0,75 et Rf : ion fluorure [<sup>18</sup>F] : 0,0). Le mélange réactionnel est dilué avec 1 mL d'eau et transféré sur une cartouche C18  
20 avec Sep-pak (waters). Le tube est rincé 2 fois avec 1 mL d'eau, qui est également transférée et ajoutée au mélange réactionnel dilué sur la cartouche.  
25

On fait ensuite passer l'ensemble à travers la cartouche. La cartouche est lavée avec 3 mL d'eau et  
30 séchée en partie pendant 0,5 minute, en envoyant un courant d'azote.

Le dérivé de l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique est élué à partir de la cartouche avec 3 mL de dichlorométhane dans une fiole de réaction contenant 5 0,1 mL de TFA. On utilise 2 fois 1 mL de dichlorométhane pour laver la cartouche et pour transférer complètement le dérivé marqué au [<sup>18</sup>F] mentionné ci-dessus (5 % de la quantité de 10 radioactivité totale, impliquée dans le processus de fluoration, reste sur la cartouche). Le rendement d'incorporation est également confirmé après l'élution du Sep-pak par le rapport des valeurs de comptage du CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> sur radioactivité totale éluée (DMSO/H<sub>2</sub>O+CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>). La solution résultante CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>/TFA (50/1, v/v) est 15 concentrée à siccité (à 65-75°C) sous un courant d'azote modéré pendant 4 à 6 minutes). Le rendement de la déprotection est quantitatif : Aucune molécule, décrite ci-dessus, protégée par BOC ne peut être 20 détectée par radiochromatographie. Le résidu, ci-dessus, est redissous dans 2 mL de CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> et concentré de nouveau à siccité pour minimiser la 25 présence de TFA (à 65-75°C sous un courant modéré d'azote pendant 4 à 6 minutes). Le résidu est alors dilué avec 0,5 mL de xylène contenant 25 mg de N-méthoxycarbonylmaléimide. Le récipient est alors hermétiquement fermé, chauffé pendant 5 minutes à 190°C (fort reflux), puis refroidi pendant 2 minutes, en utilisant un bain glace/eau. Le mélange réactionnel est alors injecté sur une colonne de HPLC semi-préparative. 30 Elution isocratique [éluant : heptane/EtOAc : 50/50 ; débit : 6,0 mL/minute] qui donne de la

1- (3- (2- [<sup>18</sup>F]fluor-pyridin-3-yloxy) -propyl] -pyrrole-2,5-dione marquée, pure, temps de rétention : 7,5 à 8,0 minutes.

Typiquement, 60 à 70 mCi de 5 1- [3- (2- [<sup>18</sup>F]fluor-pyridin-3-yloxy) -propyl] -pyrrole-2,5-dione marquée, pure, peuvent être obtenus en 75 à 85 minutes, à partir de 550-650 mCi d'un lot de production [<sup>18</sup>F]F<sup>-</sup> d'un cyclotron.

10

Exemple 7 bis :

Le composé marqué au fluor-18, la 1- [3- (2- [<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy) -propyl] -pyrrole-2,5-dione peut également être préparé en répétant les étapes a) 15 et b) du procédé décrit dans l'exemple 7, toujours en utilisant comme précurseur de marquage, le composé « nitro » (ester de tertiobutyle de l'acide [3- (2-nitro-pyridin-3-yloxy) -propyl] -carbamique), mais en modifiant la partie finale de la préparation (étape c)) 20 de la façon suivante (variante selon laquelle l'étape c) est réalisée dans un mélange biphasique de dioxanne et de bicarbonate de sodium aqueux).

Après déprotection de la fonction amine (TFA/CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), le résidu obtenu après concentration à 25 siccité est repris par 0,250 mL de dioxanne contenant 25 mg de N-méthoxycarbonylmaléimide. A cette solution, 0,750 mL d'une solution aqueuse saturée en bicarbonate de sodium sont ajoutés et la préparation est vortexée à température ambiante pendant 10 minutes. Le mélange 30 réactionnel est ensuite dilué avec 1 mL d'eau et transféré sur une cartouche C18 Sep-pak (Waters). La

fiole est rincé 2 fois avec 1 mL d'eau, qui est également transféré et ajouté au mélange réactionnel dilué sur la cartouche. Enfin 8 mL d'eau sont encore ajoutés au mélange réactionnel dilué sur la cartouche.

5 On fait ensuite passer l'ensemble sur la cartouche. La cartouche est lavé avec 3 mL d'eau et séchée en partie pendant 0,5 minutes, en envoyant un courant d'azote. Le dérivé marqué au fluor-18 (1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione) est élué à partir

10 de la cartouche avec 3 mL de dichlorométhane dans une nouvelle fiole vide. On utilise deux fois 1 mL de dichlorométhane pour laver la cartouche et pour transférer complètement le dérivé marqué au [<sup>18</sup>F] mentionné ci-dessus. La solution contenant le dérivé

15 marqué au [<sup>18</sup>F] mentionné ci-dessus est concentrée (à 65-75°C, sous un courant d'azote modéré pendant 3 à 5 minutes) jusqu'à un volume d'environ 1 mL et injectée sur une colonne de HPLC semi-préparative. La purification est identique à celle décrite dans

20 l'exemple 7.

Exemple 7 ter :

Le composé marqué au fluor-18, la 1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione

25 peut également être préparé en répétant les étapes a) et b) du procédé décrit dans l'exemple 7 ou 7 bis, mais en utilisant comme précurseur de marquage, le composé « triméthylammonium-trifluoromethane sulfonate »

30 (trifluoromethanesulfonate de [3-(3-tert-

butoxycarbonylamino-propoxy)-pyridin-2-yl]-trimethyl-  
ammonium) .

Exemple 8

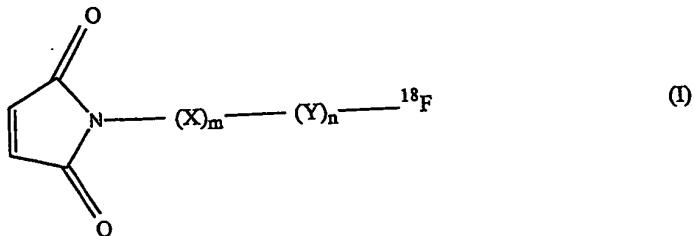
5

Dans cet exemple, on décrit le marquage  
d'un peptide, à savoir le peptide  
N-acétyl-Lys-Ala-Ala-Ala-Cys-amide, par un composé  
selon l'invention, qui est le  
10 1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluor-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-  
dione.

Le mode opératoire est le suivant :  
A un équivalent de peptide (2mg/mL; 200  
nmole; 36,2 µL) en solution dans du tampon Tris 50 mM,  
15 NaCl 150 mM, pH=7,4 on ajoute 1 équivalent de TCEP dans  
tampon Tris (7,9 mg/mL; 7,3 µL; 200 nmole).  
L'échantillon est laissé 5mn à température ambiante  
puis est dilué dans 1mL de tampon Tris. Le synthon sec  
1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluor-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-  
20 dione est repris dans 100µL d'un mélange  
heptane/acétate d'éthyle 50/50, et la solution de  
peptide réduit est ajoutée. L'échantillon est laissé 10  
mn à température ambiante en agitant de temps en temps.  
Le peptide marqué est purifié par HPLC sur colonne C18  
25 avec un gradient de 0 à 34% acetonitrile/0,1%TFA dans  
H<sub>2</sub>O/0,1%TFA en 30 mn (colonne DeltaPak C18,  
R<sub>t-peptide</sub>=28mn) .

REVENDICATIONS

## 1. Composé de formule générale (I) :



5

dans laquelle :

- m représente un nombre entier de 0 à 10,  
tel que 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 ;
- n représente un nombre entier de 1 à 10,  
tel que 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 ;
- Y représente un groupe choisi parmi les groupes hétérocycliques monocycliques ou bicycliques choisis parmi les groupes imidazolyle, pyrazolyle, benzimidazolyle, pyridinyle, piridazinyle, 15 pyrimidinyle, pyrazinyle, triazinyle, quinolinyle, isoquinolinyle, cinnolinyle, quinazolinyle, quinoxalinyle, purinyle, Y pouvant être, éventuellement, substitué par un ou plusieurs substituants, chacun de ces substituants étant indépendamment choisi parmi l'hydrogène, les halogènes, les groupes phényle, alkyle en C<sub>1-6</sub>, alcoxy en C<sub>1-6</sub>, mono-aryloxy, amino, mono- ou di(alkyle en C<sub>1-6</sub>)amino, mono-aryloxy, amino, mono- ou di(aryl)amino, thio, alkyle en C<sub>1-6</sub>-thio, arylthio, 20 formyle, alkyle en C<sub>1-6</sub>-carbonyle, arylcarbonyle, carbonyle, alcoxy en C<sub>1-6</sub>-carbonyle, aryloxycarbonyle, 25 carbonyle, alcoxy en C<sub>1-6</sub>-carbonyle, aryloxycarbonyle,

alkyle en  $C_{1-6}$ -aminocarbonyle, arylaminocarbonyle, trifluorométhyle ;

- X représente un radical de formule :

5 (U)<sub>a</sub>-((CR<sub>1</sub>R<sub>2</sub>)<sub>b</sub>-(V)<sub>c</sub>)<sub>d</sub>-((CR<sub>3</sub>R<sub>4</sub>)<sub>e</sub>-(W)<sub>f</sub>)<sub>g</sub>-

dans laquelle :

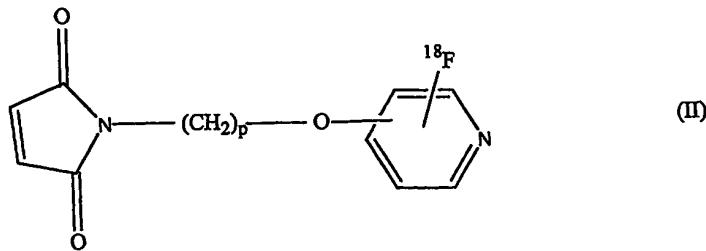
- a, b, c, d, e, f, g représentent chacun indépendamment un nombre entier de 0 à 10, tel que 0, 10 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ;

- U, V et W représentent chacun

indépendamment -NR<sub>1</sub>-, -O-, -S-,  $\begin{array}{c} O \\ | \\ -N- \end{array}$ , éthynyle, -CR<sub>1</sub>=CR<sub>2</sub>-, -(C=O)-, -(C=S)-, -C(=NR<sub>1</sub>)-, -C(=O)O-, -(C=S)S-, -C(=NR<sub>1</sub>)NR<sub>2</sub>-, -CR<sub>1</sub>R<sub>2</sub>-, -CR<sub>1</sub>OR<sub>2</sub>-, -CR<sub>1</sub>NR<sub>2</sub>R<sub>3</sub>-, où 15 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> et R<sub>4</sub> sont chacun indépendamment choisis parmi l'hydrogène, les halogènes, les groupes phényle, alkyle en  $C_{1-6}$ , alcoxy en  $C_{1-6}$ , aryloxy, amino, mono- ou di(alkyle en  $C_{1-6}$ )amino, mono- ou di(aryl)amino, thio, alkyle en  $C_{1-6}$ -thio, arylthio, formyle, alkyle en 20  $C_{1-6}$ -carbonyle, arylcarbonyle, carbonyle alcoxy en  $C_{1-6}$ -carbonyle, aryloxycarbonyle, alkyle en  $C_{1-6}$ -aminocarbonyle, arylaminocarbonyle, trifluorométhyle.

2. Composé de formule (I) selon la 25 revendication 1, dans laquelle n=1, et Y est un groupe 3-pyridinyle.

3. Composé selon la revendication 2, qui répond à la formule (II) suivante :

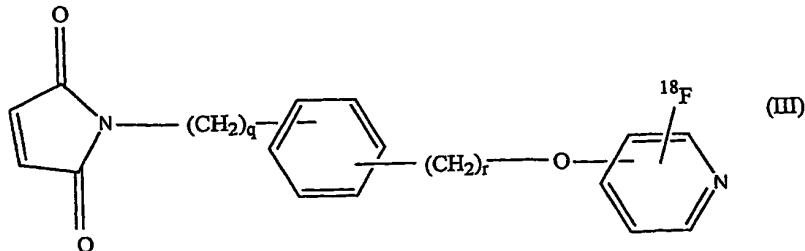


dans laquelle p est un nombre entier de 1 à 10, tel que 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9.

5 4. Composé de formule (II) selon la revendication 3, qui est choisi parmi :

- la 1-[2-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-éthyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[4-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-butyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[5-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-pentyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[6-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-hexyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-méthyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[3-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-pyrrole-2,5-dione.

15 5. Composé selon la revendication 2, qui répond à la formule (III) suivante :



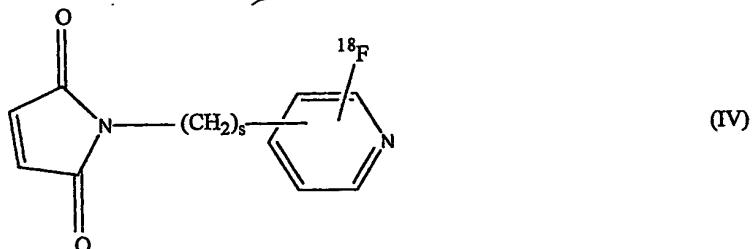
dans laquelle q et r représentent indépendamment un nombre entier de 0 à 10, tels que 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

5 6. Composé de formule (III) selon la revendication 5, qui est choisi parmi :

- la 1-[4-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxy)-ethyl]-phenyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[4-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxymethyl)-phenyl]-pyrrole-2,5-dione ;
- la 1-[4-(2-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yloxymethyl)-benzyl]-pyrrole-2,5-dione.

10 7. Composé selon la revendication 2, qui répond à la formule (IV) suivante :

15

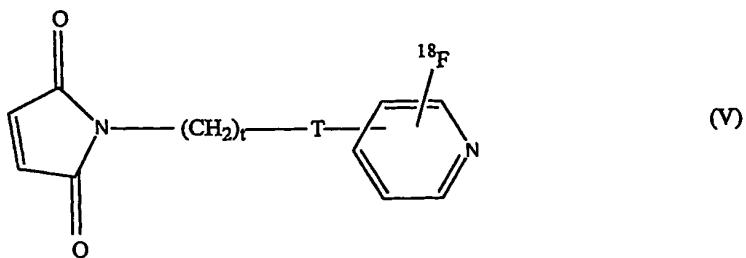


dans laquelle s est un nombre entier de 1 à 10, tel que 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

20 8. Composé de formule (IV) selon la revendication 7, qui est :

- la 1-[3-(6-[<sup>18</sup>F]fluoro-pyridin-3-yl)-propyl]-pyrrole-2,5-dione.

25 9. Composé selon la revendication 2, qui répond à la formule (V) suivante :



dans laquelle  $t$  est un nombre entier de 0 à 10, tel que 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et  $T$  est un groupe  $-\text{CH}=\text{CH}-$  ou 5  $-\text{C}\equiv\text{C}-$ .

10. Composé selon la revendication 9, qui est choisi parmi :

- la 1-[3-(6-[<sup>18</sup>F] fluoro-pyridin-3-yl)-allyl]-pyrrole-2,5-dione ;

10 - la 1-[3-(6-[<sup>18</sup>F] fluoro-pyridin-3-yl)-prop-2-ynyl]-pyrrole-2,5-dione.

11. Utilisation d'un composé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, pour le marquage d'une macromolécule.

15 12. Utilisation selon la revendication 11, dans laquelle ladite macromolécule est choisie parmi les oligonucléotides, les protéines, les anticorps et les peptides.

20 13. Utilisation selon l'une quelconque des revendications 11 et 12, dans laquelle la macromolécule est une macromolécule de reconnaissance d'un site spécifique.

25 14. Utilisation selon la revendication 13, dans laquelle ledit site spécifique est choisi parmi les sites présentant des molécules cibles spécifiques

d'une pathologie, tels que les sites d'apoptose, de nécrose, de zone tumorale.

15. Complexe comprenant une macromolécule couplée à un composé selon l'une quelconque des 5 revendications 1 à 10.

16. Complexe selon la revendication 15, dans lequel ladite macromolécule est choisie parmi les oligonucléotides, les protéines, les anticorps et les peptides.

10 17. Complexe selon la revendication 16, dans lequel ledit couplage est réalisée par réaction de la double liaison du groupe maléimido avec, spécifiquement, une fonction -SH de la cystéine dans le cas d'un peptide, ou une fonction phosphoro-thioate 15 dans le cas d'un oligonucléotide.

18. Complexe selon l'une quelconque des revendications 15 à 17, dans lequel la macromolécule est une macromolécule de reconnaissance d'un site spécifique.

20 19. Complexe selon la revendication 18, dans lequel ledit site spécifique est choisi parmi les sites présentant des molécules cibles spécifiques d'une pathologie, tels que les sites d'apoptose, de nécrose, de zone tumorale.

25 20. Trousse d'analyse et de détection, par exemple pour l'imagerie médicale comprenant un composé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 et une macromolécule.

21. Trousse d'analyse et de détection, par 30 exemple pour l'imagerie médicale comprenant un complexe

selon l'une quelconque des revendications 15 à 19 couplé à une macromolécule.

22. Trousse de diagnostic comprenant un composé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 10 et une macromolécule.

23. Trousse de diagnostic comprenant un complexe selon l'une quelconque des revendications 15 à 19.

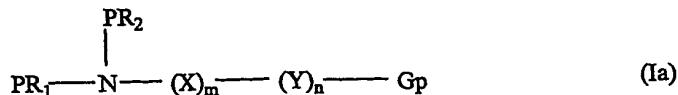
24. Utilisation d'un complexe selon l'une 10 quelconque des revendications 15 à 19 ou d'un composé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 dans un procédé d'imagerie médicale, tel que la tomographie par émission de positons (TEP).

25. Utilisation d'un complexe selon l'une 15 quelconque des revendications 15 à 19 ou d'un composé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 pour fabriquer un produit destiné à l'imagerie médicale, par exemple à la tomographie par émission de positons (TEP).

26. Produit pour l'imagerie médicale, en 20 particulier la tomographie par émission de positons comprenant un complexe selon l'une quelconque des revendications 15 à 19 ou un composé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 avec un véhicule pharmaceutiquement acceptable.

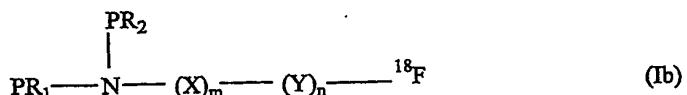
27. Procédé de préparation d'un composé de formule (I) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel :

30 a) on met en contact un composé précurseur de formule (Ia) :

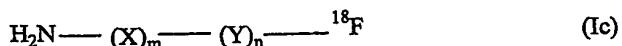


5 dans laquelle  $\text{PR}_1$  et  $\text{PR}_2$  représentent indépendamment un  
 10 atome d'hydrogène ou un groupe protecteur de la fonction amine, à la condition que  $\text{PR}_1$  et  $\text{PR}_2$  ne soient pas tous deux un atome d'hydrogène, ou bien  $\text{PR}_1$  et  $\text{PR}_2$  forment ensemble avec l'atome d'azote un groupe protecteur cyclique de la fonction amine,  $\text{Gp}$  représente un groupe partant susceptible d'être remplacé par un atome de fluor-18, et  $\text{X}$ ,  $\text{Y}$ ,  $m$  et  $n$  ont la signification déjà donnée dans la revendication 1, avec une source d'ions fluorure  $\text{F}^-$  marqués au  $^{18}\text{F}$  pour donner un composé de formule (Ib) :

15



20 b) on élimine dans le composé (Ib), le ou les groupe(s) protecteur(s)  $\text{PR}_1$  et/ou  $\text{PR}_2$  de la fonction amine, pour donner un composé de formule (Ic) :



25 c) on fait réagir le composé (Ic) avec un réactif susceptible de donner un groupe maléimido à

partir d'un groupe amino, pour obtenir le composé final de formule (I).

28. Procédé selon la revendication 27, dans lequel les groupes  $PR_1$  et  $PR_2$  lorsqu'ils sont des groupes protecteurs sont choisis parmi les groupes tertiobutoxycarbonyle (BOC) et fluorenylmethoxy carbonyle (Fmoc), ou bien ils forment ensemble avec l'atome d'azote de la fonction amine un groupe phthalamido.

10 29. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 et 28, dans lequel le groupe  $Gp$  est choisi parmi les halogènes, tels que F, Cl, Br, I, les groupes mésyle, tosyle et triflate lorsque  $Y$  est un groupe alkyle ; et parmi les halogènes, les sels 15 d'ammonium tel que le triméthylammonium-trifluorométhane sulfonate, et le groupe nitro, lorsque  $Y$  est un groupe aromatique ou hétérocyclique.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 29, dans lequel, dans l'étape a), la source d'ions fluorure marqués au  $^{18}F$  comprend lesdits ions fluorure et un contre-ion choisi parmi les cations de grande taille, tels que le rubidium, et le tétrabutyl-ammonium, et les cations de petite taille, 25 tels que le potassium, le sodium et le lithium, lesdits cations de petite taille étant stabilisés par un cryptand ou un éther couronne adapté audit cation de petite taille.

31. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 30, dans lequel l'étape b) est

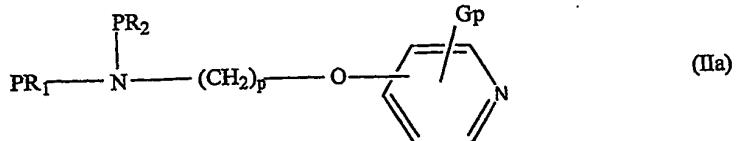
réalisée par mise en contact au composé (Ib) avec du TFA dans le  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  pendant une durée de 1 à 5 minutes.

32. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 31, dans lequel le réactif susceptible de donner un groupe maléimido à partir d'un groupe amino, dans l'étape c), est choisi parmi la N-méthoxycarbonylmaléimide et la succinimide.

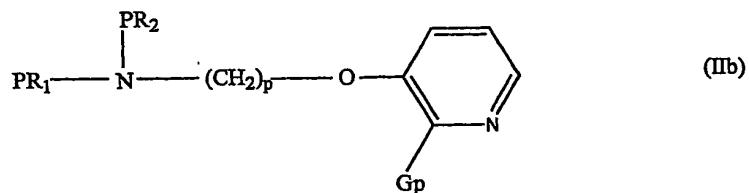
33. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 32, dans lequel l'étape c) est réalisée dans un solvant tel que le xylène, le THF avec un chauffage à une température de 100 à 200°C, par exemple de 190°C pendant une durée de 1 à 20 minutes, par exemple de 5 minutes.

34. Procédé selon l'une quelconque des  
15 revendications 27 à 32, dans lequel l'étape c) est  
réalisée dans un mélange biphasique, par exemple de  
dioxanne et de bicarbonate de sodium aqueux, à  
température ambiante pendant une durée de 3 à 15  
minutes, par exemple de 10 minutes.

20 35. Procédé selon l'une quelconque des revendications 25 à 34, dans lequel le composé de formule (Ia) répond à la formule (IIa) suivante :



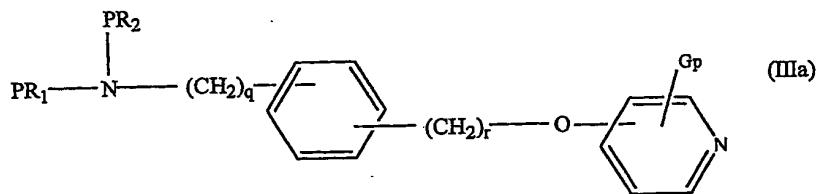
36. Procédé selon la revendication 35, dans laquelle le composé de formule (IIa) répond à la formule (IIb) suivante :



5

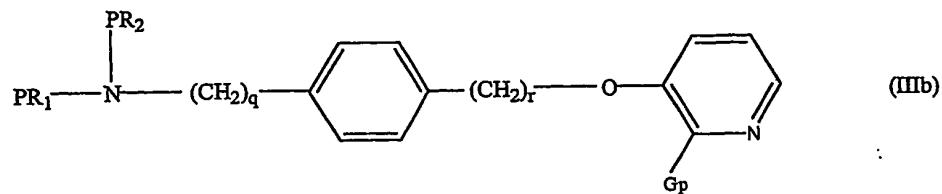
37. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 34, dans lequel le composé de formule (Ia) répond à la formule (IIIa) suivante :

10

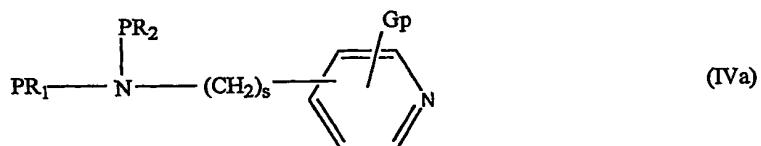


15 dans laquelle q et r ont la signification déjà donnée dans la revendication 5.

38. Procédé selon la revendication 37, dans lequel le composé de formule (IIIa) répond à la formule (IIIb) suivante :



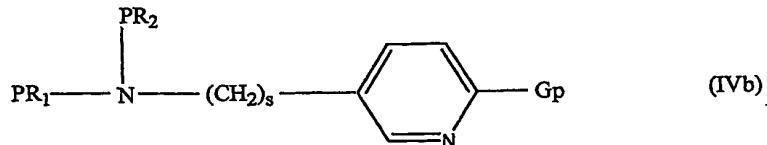
39. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 34, dans lequel le composé de 5 formule (Ia) répond à la formule (IVa) suivante :



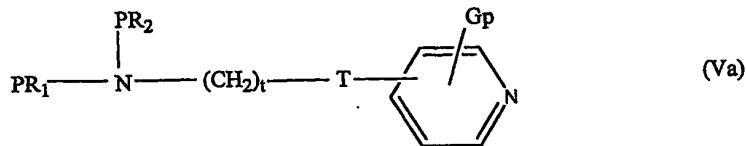
10 dans laquelle  $s$  a la signification déjà donnée dans la revendication 7.

40. Procédé selon la revendication 39, dans lequel le composé de formule (IVa) répond à la formule (IVb) suivante :

15

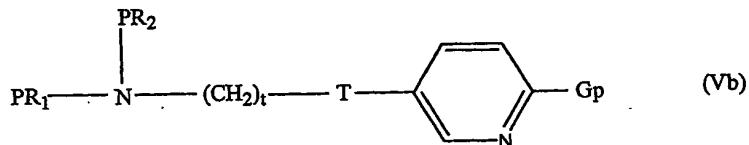


41. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27 à 34, dans lequel le composé de 20 formule (Ia) répond à la formule (Va) suivante :



5 dans laquelle  $t$  et  $T$  ont la signification déjà donnée  
dans la revendication 9.

42. Procédé selon la revendication 41, dans lequel le composé de formule (Va) répond à la formule (Vb) suivante :



10

43. Composé précurseur de formule (Ia), tel que défini dans l'une quelconque des revendications 27 à 29.

15 44. Composé précurseur de formule (IIa), (IIb), (IIIa), (IIIb), (IVa), (IVb), (Va), (Vb) tel que défini, respectivement, dans les revendications 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 et 42.

20 45. Composé, précurseur d'un composé de formule générale (I), qui est choisi parmi les composés des revendications 4, 6, 8, et 10, dans lesquels le  $[^{18}\text{F}]$  est remplacé par un halogène non radioactif, tel que  $^{19}\text{F}$ , Cl, Br, I, un sel d'ammonium, tel que le triméthylammonium-trifluorométhanesulfonate ou un

groupe  $-\text{NO}_2$ , et le groupe 1-pyrrole-2,5-dione est remplacé par un groupe tert-butoxycarbonylamino.

46. Composé précurseur selon la revendication 45, qui est le [3-(3-tert-butoxycarbonylamino-propoxy)-pyridin-2-yl]-triméthyl-ammonium trifluorométhanesulfonate ; l'ester de tertiobutyle de l'acide [3-(2-nitro-pyridin-3-yloxy)-propyl]-carbamique.